

УДК 553.277

С.С. Мининг

## ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАТУРАЛЬНЫХ АНАЛОГОВ СТОИМОСТНЫХ ОЦЕНОК ЗАПАСОВ РУД

Проведены методы экономической оценки запасов полезных ископаемых и способ определения погрешности оценки.

Ключевые слова: полезные ископаемые, параметры рудного месторождения, погрешность репрезентативности, стоимостные оценки.

Семинар № 1

### S.S. Mining THE INACCURACY OF THE DEFINITION OF THE NATURAL ANALOGUES OF THE COST ESTIMATES OF THE ORE RESOURCES.

The methods of the economical estimation of the mineral resources and the methods of defining the inaccuracy of the estimation are reviewed.

Key words: minerals, ore deposit parameters, inaccuracy of the representation, cost estimation.

Экономическая оценка запасов полезных ископаемых в условиях рынка приобретает первостепенное значение. Из многочисленных оценочных показателей и методов их определения нами выделены три основных [1, 2].

1. **Абсолютный потенциал (валовая потенциальная ценность) минерального ресурса** - выраженное в денежной форме полное количество заключенных в нем полезных компонентов.

2. **Относительный потенциал (эксплуатационная потенциальная ценность) минеральных ресурсов** - величина не дисконтированной горной ренты.

3. **Стоимость запасов полезных ископаемых** - величина сум-

марной горной ренты от эксплуатации месторождения.

Основные оценочные показатели можно представить в виде произведения цены единицы металла на некоторое количество металла (для абсолютного потенциала - общие запасы металла, для относительного потенциала - количество не дисконтированного «прибыльного» металла, для стоимости запасов - количество дисконтированного «прибыльного» металла). Такой подход позволяет при стоимостных оценках запасов полезных ископаемых оперировать их натуральными аналогами, применяя широко разработанные методы геологических оценок запасов [2].

В статье [2] обоснованы следующие показатели:

$$W_{и} = K_{н}(\epsilon_{с}c - \epsilon_{0}c_{м})B,$$

$$W = K_{н}(c - c_{м}\epsilon_{0}/\epsilon_{с})B,$$

где  $W_{и}$  - количество извлекаемого «прибыльного» металла;  $W$  - количество добываемого «прибыльного» металла;  $K_{н}$  - коэффициент извлечения из недр;  $c_{м}$  - минимальное промышленное содержание полезного компонента в руде, %;  $c$  - среднее содержание полезного компонента в руде, %;  $\epsilon_{0}$ ,  $\epsilon_{с}$  - извлечение соответственно при содержаниях, равных  $c_{м}$  и  $c$ .

$$W_{ид} = \sum_{t=1}^T \frac{W_{ит}}{(1+E)^t},$$

$$W_{од} = \sum_{t=1}^T \frac{W_t}{(1+E)^t}$$

где  $W_{ид}$ ,  $W_{од}$  - количество соответственно дисконтированного извлекаемого и добываемого «прибыльного» металла;  $W_{ит}$ ,  $W_t$  - количество соответственно извлекаемого и добываемого «прибыльного» металла  $t$ -го года;  $E$  - норма дисконта, зависящая от макроэкономических условий периода реализации проекта и учитывающая уровень риска, доля единицы.

Натуральные аналоги позволяют оперативно рассчитывать стоимость запасов полезных ископаемых, постоянно изменяющуюся по мере развития горных работ. При этом целесообразно использование существующих методов определения погрешностей для оценки достоверности «прибыльного» металла.

Основными параметрами, характеризующими рудное месторождение, являются запасы руды и основного компонента (металла).

Существует три основных способа оценки точности определения запасов руды в недрах: разрежения разведочной сети, сравнения результатов подсчета запасов с данными эксплуатации и расчета на основе геолого-математического моделирования.

Способ разрежения разведочной сети состоит в том, что запасы определяют по наиболее густой сети и принимают их за истинные. Затем сеть разрежают, определяя при каждой плотности погрешность запасов сопоставлением их с ранее подсчитанными. Способ предполагает наличие детально разведанных запасов эталонных участков месторождения и

распространение получаемых результатов на аналогичные геологические объекты. Недостатками способа являются допущение об истинности детально разведанных запасов и применение метода аналогии.

Способ сравнения результатов подсчета запасов с данными эксплуатации является наиболее полным. Однако его можно применять лишь постфактум. Кроме того, этот способ не учитывает возможного занижения величины отработанных запасов за счет занижения фактических эксплуатационных потерь, о чем свидетельствует практика повторной разработки месторождений.

Расчеты точности определения запасов на основе геолого-математического моделирования используют погрешности определения исходных данных (площадей, мощностей, плотностей, содержаний и др.), учитывают способы и алгоритмы подсчета запасов, принятый уровень доверительной вероятности и пр.

При подсчете запасов месторождений твердых полезных ископаемых применяют свыше 20 способов. Наиболее распространены способы среднего арифметического, изолиний и объемной палетки, разрезов, многоугольников.

В наиболее простом случае запасы руды и металла соответственно равны:

$$B = Smp$$

$$Q = Smpc,$$

где  $B$  и  $Q$  - соответственно запасы руды и металла;  $S$  - площадь залежи или ее части в пределах проекции контура подсчета запасов;  $m$  - среднее значение мощности залежи на подсчитываемом участке;  $p$  - среднее значение плотности полезного ископаемого в массиве;  $c$  - среднее значение содержания металла в

пределах подсчитываемого контура, д. ед.

Общая относительная погрешность запасов может быть оценена приближенно по формулам:

$$m_B = \pm \sqrt{m_s^2 + m_m^2 + m_p^2}$$

$$m_Q = \pm \sqrt{m_s^2 + m_m^2 + m_p^2 + m_c^2}$$

где  $m_B$ ,  $m_Q$  - относительные погрешности запасов соответственно руды и металла;  $m_s$ ,  $m_m$ ,  $m_p$ ,  $m_c$  - относительные погрешности определения среднего значения площади, мощности, плотности и содержания металла в залежи.

Указанные выражения предусматривают отсутствие корреляции между оцениваемыми аргументами. В противном случае получаются существенно заниженные оценки погрешностей запасов.

Каждая из общих погрешностей  $m_i$ , входящих в эти выражения, включает в себя две составляющие: техническую  $m_{ir}$  и погрешность репрезентативности (представительности, аналогии)  $m_{i\alpha}$ . Технические погрешности, как правило, меньше погрешностей репрезентативности.

Разработано большое количество методов определения погрешностей репрезентативности от наиболее простых, исходящих из предположения, что закон распределения исследуемых величин нормальный, а значения показателей случайны, а потому дающих заведомо искаженные результаты, до более строгих, позволяющих учесть систематическую и случайную составляющие погрешностей, использующих современные методы геостатистики. Анализ этих методов выходит за рамки настоящей статьи.

Погрешности определения запасов, естественно, различны для отдельных категорий запасов по степе-

ни их разведанности. Большинство авторов следует В.М. Крейтеру, установившему «сугубо ориентировочно» допустимые погрешности определения запасов [3]: для категории А -  $m_0 = 15-20\%$ ; для категории В -  $m_0 = 20-30\%$ ; для категории С<sub>1</sub> -  $m_0 = 30-60\%$ ; для категории С<sub>2</sub> -  $m_0 = 60-90\%$ .

При этом иногда допускаются некорректные толкования этих показателей:

- допустимые погрешности подменяются средними квадратическими;
- допустимые погрешности считаются равными удвоенным средним квадратическим;
- допустимые погрешности распространяются на все запасы месторождения данной категории, а не на подсчетные блоки.

Все это приводит к искажениям получаемых результатов.

Допустимая погрешность определения запасов или отдельных аргументов, участвующих в подсчете запасов, в пределе равна:

$$m_0 = d / x_{\min}$$

где  $m_0$  - допустимая погрешность;  $d = (x_{\max} - x_{\min})$  - размах колебаний аргумента  $x$ ;  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  - максимальное и минимальное значение аргумента  $x$ .

Для распределений, близких к нормальному закону, средняя квадратическая погрешность  $m$  равна:

$$m = 2d / [(x_{\min} + x_{\max})\sqrt{12}]$$

Из двух приведенных выражений следует, что

$$m = m_0 x_{\min} / [(x_{\min} + x_{\max})\sqrt{3}],$$

т. е. связь между средними квадратическими и допустимыми погрешностями существенно зависит от размаха колебаний исследуемых аргументов.

Можно показать, что  $m = (0.05 - 0.3)m_0$ , а не  $0.5m_0$ , как это часто применяется на практике.

Обратимся далее к оценке погрешности «прибыльного» металла.

Пренебрегая незначительным вкладом погрешностей величин  $K_n$ ,  $\varepsilon_c$  и  $\varepsilon_0$ , принимаем в первом приближении относительную погрешность «прибыльного» металла по выражению:

$$m_w = \pm \sqrt{\left(\frac{M_B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_c M_c}{\varepsilon_c c - \varepsilon_0 c_m}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_0 M_{c_m}}{\varepsilon_c c - \varepsilon_0 c_m}\right)^2 + \frac{2\varepsilon_0 K_{Bc_m}}{B(\varepsilon_c c - \varepsilon_0 c_m)} + \frac{2\varepsilon_c \varepsilon_0 K_{cc_m}}{(\varepsilon_c c - \varepsilon_0 c_m)^2}}$$

где  $m_w$  – относительная погрешность «прибыльного» металла;  $M_B$ ,  $M_c$ ,  $M_{c_m}$  – абсолютные погрешности соответственно величин  $B$ ,  $c$  и  $c_m$ ;  $K_{Bc_m}$ ,  $K_{cc_m}$  – корреляционные моменты («моменты связи») соответственно величин  $B$  и  $c_m$ ,  $c$  и  $c_m$ .

Следует иметь в виду, что величина  $c_m$  зависит от величин  $B$  и  $c$ , корреляционные моменты  $K_{Bc_m}$ ,  $K_{cc_m}$ , как правило, отрицательны. Поэтому игнорирование этих зависимостей приводит к завышению оценки погрешности  $m_w$ .

Для уточнения оценок погрешностей  $m_w$  возможно применение детально разработанных геостатистических методов.

Относительная средняя квадратическая погрешность дисконтированного «прибыльного» металла равна:

$$m_{w_0} = \pm \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^T \frac{W_t^2 m_{w_t}^2}{(1+E_t)^{2t}}}}{\sum_{t=1}^T \frac{W_t}{(1+E_t)^t}},$$

где  $m_{w_0}$  – относительная средняя квадратическая погрешность дисконтированного «прибыльного» металла;  $m_{w_t}$  – относительная средняя квадратическая погрешность «прибыльного» металла  $t$ -го года;  $W_t$  – количество «прибыльного» металла  $t$ -го года;  $E_t$  – норма дисконта с учетом риска  $t$ -го года;  $T$  – общее количество лет оценки.

В приведенном выражении учтен факт возможного изменения риска в зависимости от погрешностей определения «прибыльного» металла в различные годы эксплуатации. Вовлечение в добычу запасов низких категорий разведанности повышает погрешности оценок «прибыльного» металла, увеличивает риск и норму дисконта. Однако удаленность во времени этого события снижает вклад этого увеличения. Кроме того, остается время для доразведки и перевода запасов полезных ископаемых в более высокие категории.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мининг С.Э., Мининг С.С. Об оценке стоимости запасов твердых полезных ископаемых. / «Горный журнал», №9, 2002. – с. 6-8.
2. Мининг С.С. Натуральные аналоги стоимостных оценок запасов рудных место-

рождений / «Горный журнал», № 8, М., 2006. – с. 56-58.

3. Крейгер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых, часть 2 / М., Госгеолтехиздат, 1961. – 390 с. **ГИАБ**

#### Коротко об авторе

Мининг С.С. – кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, ФГУП ВИОГЕМ, viogem@mail.belgorod.ru

